

都市から考える将来の低炭素社会の姿

2018年9月26日

大阪大学大学院工学研究科
環境・エネルギー工学専攻

下田吉之



地球温暖化対策計画(2016)

- 2030年度に2013年度比▲26.0%（2005年比▲25.4%）の水準（約10億4200万t-CO₂）
 - 1990年比▲17.4%に相当
 - 業務、家庭部門に約40%の温室効果ガス削減を求める。
- 経済産業省によるエネルギーミックスと整合
 - 2030年の最終エネルギー需要を将来予測に対して、省エネ（▲13%）により、326百万KLにする。
 - 一次エネルギー供給は再エネ13～14%、原子力11～10%、天然ガス18%程度、石炭25%程度、LPG3%程度、石油30%程度。
 - 2030年度の電力需要を将来予測に対して省エネ（▲17%）により、9808億kWhにする。
 - 電源構成は再エネ22～24%程度、原子力22～20%程度、LNG27%程度、石炭26%程度、石油3%程度。



エネルギーミックスにおける省エネ目標

最終エネルギー消費

百万kL	2013年	2030レファレンス	2030省エネ徹底	2013年からの省エネ率	レファレンスからの省エネ率
業務	65	69	56	13.8%	18.8%
家庭	52	50	38	26.9%	24.0%

電力消費

億kWh	2013年	2030レファレンス	2030省エネ徹底	レファレンスからの省エネ率
業務	3509	4387	3444	21.5%
家庭	2852	2909	2308	20.7%

ガス・石油類消費

百万kL	2013年	2030レファレンス	2030省エネ徹底	レファレンスからの省エネ率
業務	32	28	24	15.0%
家庭	26	23	17	27.9%



家庭の省エネルギー想定

対策	電力	燃料
・ 新築住宅における省エネ基準適合の推進（6%→30%に）	78.6	235.6
・ 既築住宅の断熱改修の推進（同上）	11	31.5
・ 高効率給湯器の導入（CO2冷媒HP給湯器1400万台、潜熱回収型給湯器2700万台、燃料電池530万台、太陽熱温水器）	-26.3	294.9
・ 高効率照明の導入（9%→ほぼ100%に）	201.1	
・ トップランナー制度等による機器の省エネ性能向上	104.8	28.7
・ HEMS・スマートメーターを利用した家庭部門における徹底的なエネルギー管理の実施（0.2%→ほぼ100%に）	178.3	
・ 国民運動の推進（クールビズ・ウォームビズの実施徹底の促進、機器の買換え促進、家庭エコ診断、自治体庁舎改修）	10.7	11.7
・ 低炭素インフラロードマップ（省エネ基準適合義務化、ZEB/ZEH）		
・ 浄化槽の省エネルギー化		
合計(万kL)	558.2	602.4

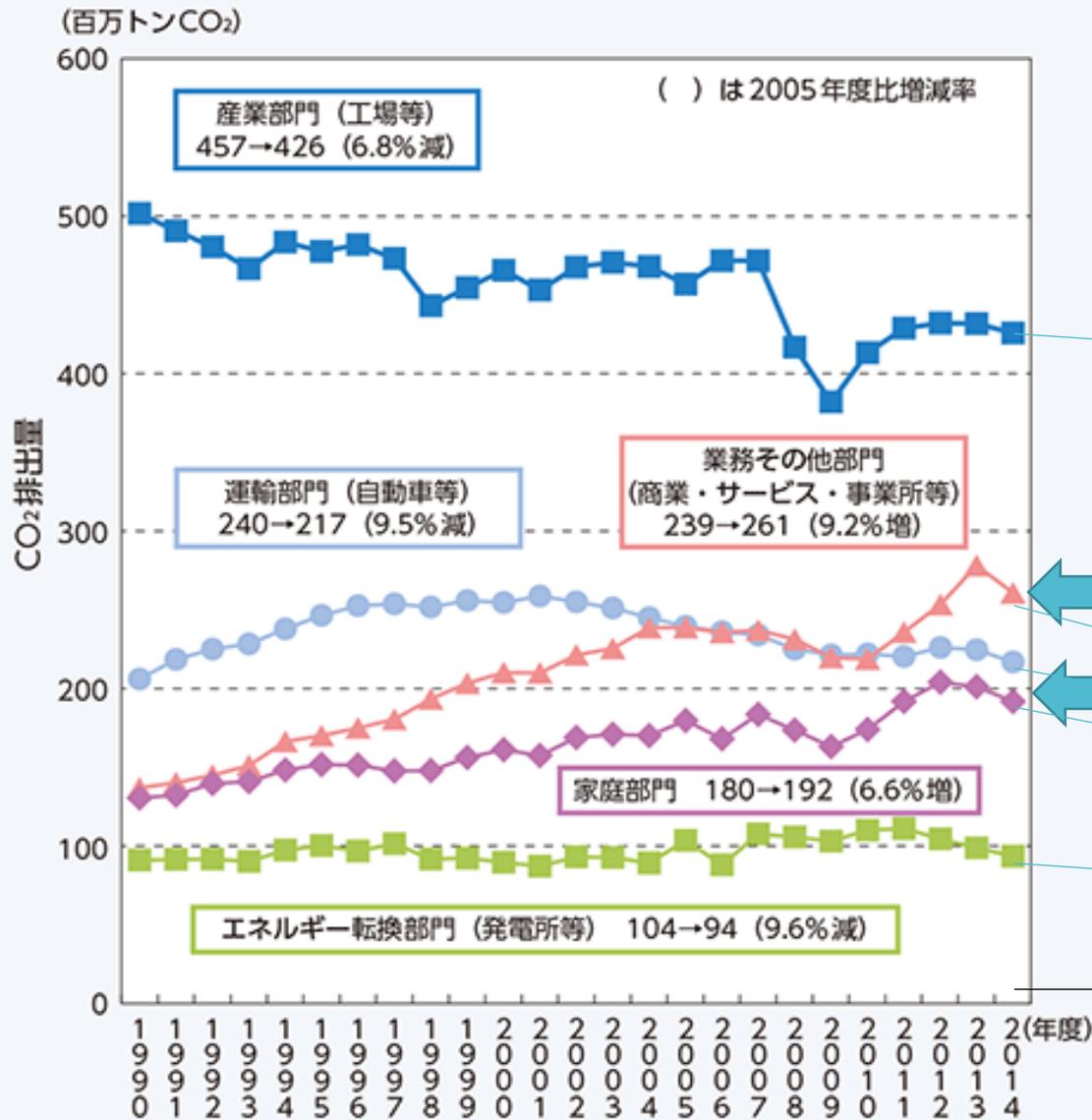


業務の省エネルギー想定

対策	電力	燃料
・ 新築建築物における省エネ基準適合の推進	162.3	170
・ 建築物の省エネ化（改修）	16.8	24.3
・ 業務用給湯器の導入（潜熱回収型給湯器、業務用ヒートポンプ給湯器、高効率ボイラ）	10.3	50.8
・ 高効率照明の導入	228.8	
・ 冷媒管理技術の導入（フロン）	0.6	
・ トップランナー制度等による機器の省エネ性能向上	278.4	
・ BEMS の活用、省エネ診断等による業務部門における徹底的なエネルギー管理の実施	129.4	105.9
・ 照明の効率的な利用	42.3	
・ 国民運動の推進（業務部門）	6.6	
・ エネルギーの面的利用の拡大		
・ 下水道における省エネ・創エネ対策の推進		
・ 水道事業における省エネルギー・再生可能エネルギー対策の推進等		
・ 地方公共団体実行計画（事務事業編）に基づく取組の推進		
・ プラスチック製容器包装の分別収集・リサイクルの推進		
・ ヒートアイランド対策による熱環境改善を通じた都市の低炭素化		
合計（万kL）	875.5	351



図 1-1-6 部門別エネルギー起源二酸化炭素排出量の推移



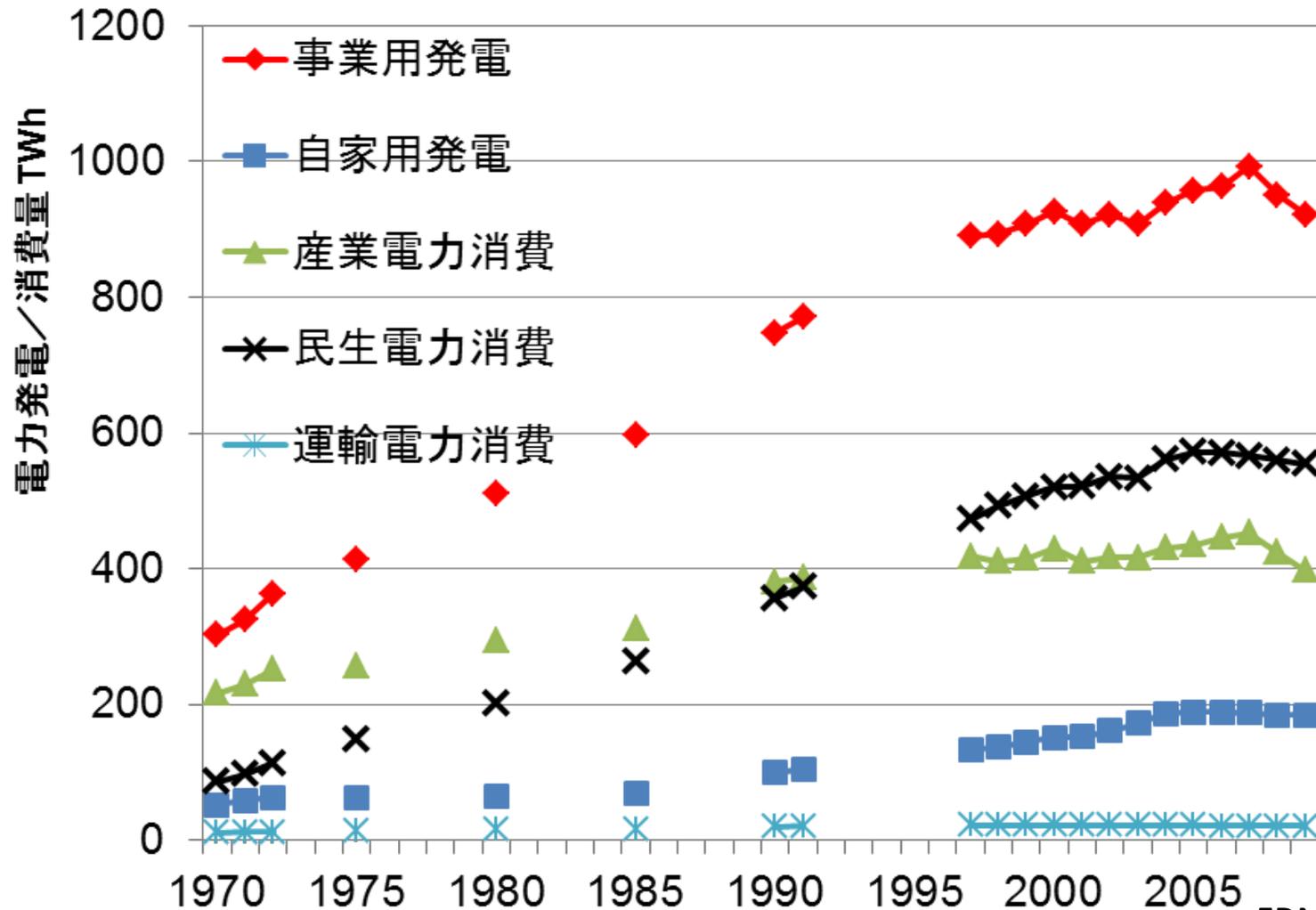
これまで、一貫して増加してきた業務・家庭部門

資料：環境省

出典：環境白書



電力需給の変化



EDMCより作成



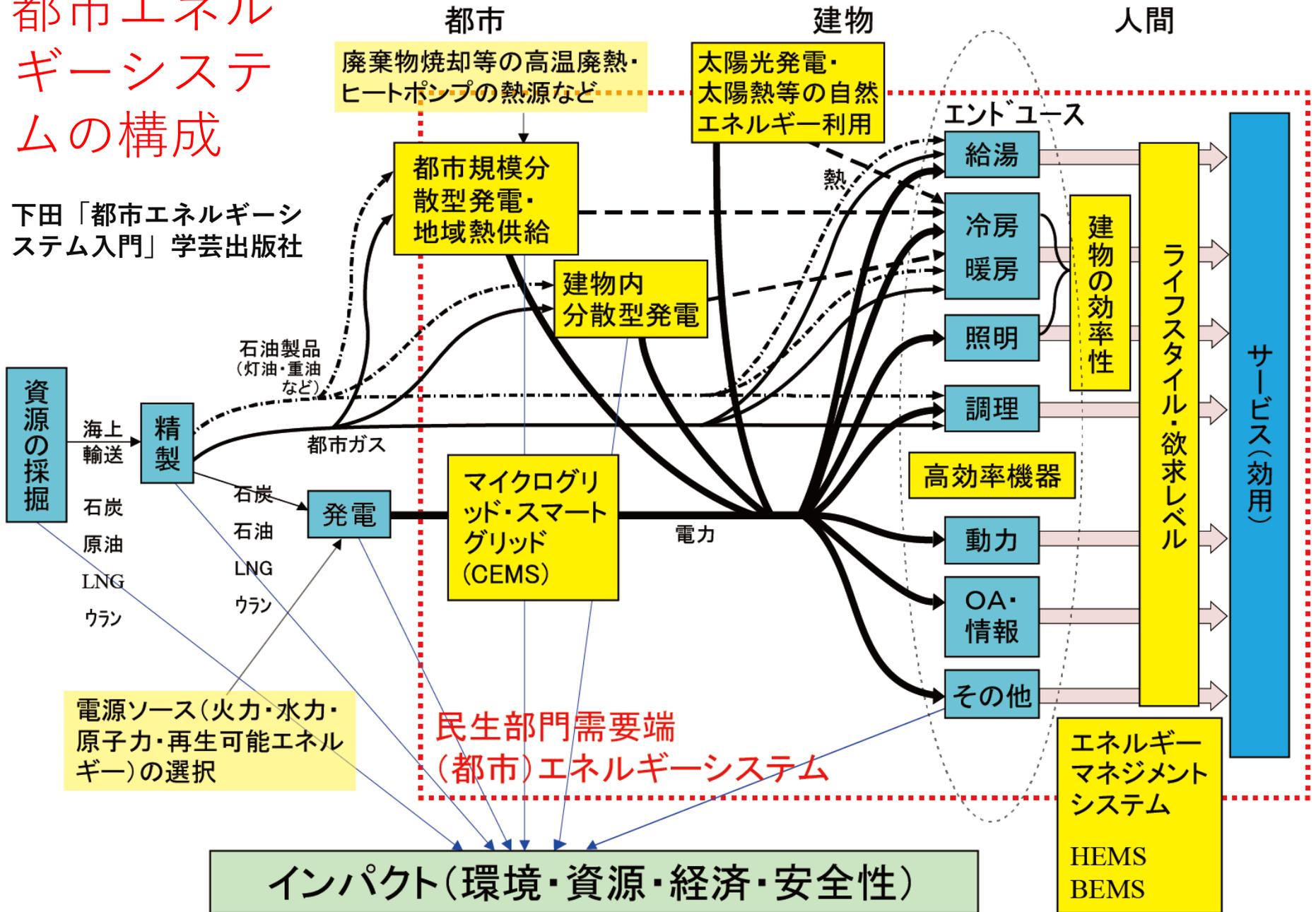
温暖化対策における民生部門の特徴

- 民生部門は電力化率が高いため、電力のエネルギー源構成に大きく左右される。
- 大幅削減が困難な産業部門（間接排出を考えれば国際的バランスが必要）に較べれば、大幅削減に対するバリアは低い。コベネフィットもある。
- ZEB（ネット・ゼロ・エネルギービル）やZEH（ネット・ゼロ・エネルギーハウス）など、大幅削減に向けた概念が世界中で浸透。
- 一方で、具体的な対策はあまり進んでいない。使われ方など制御できない要因もある中、マネジメントの主体がはっきりしない。



都市エネルギーシステムの構成

下田「都市エネルギーシステム入門」学芸出版社

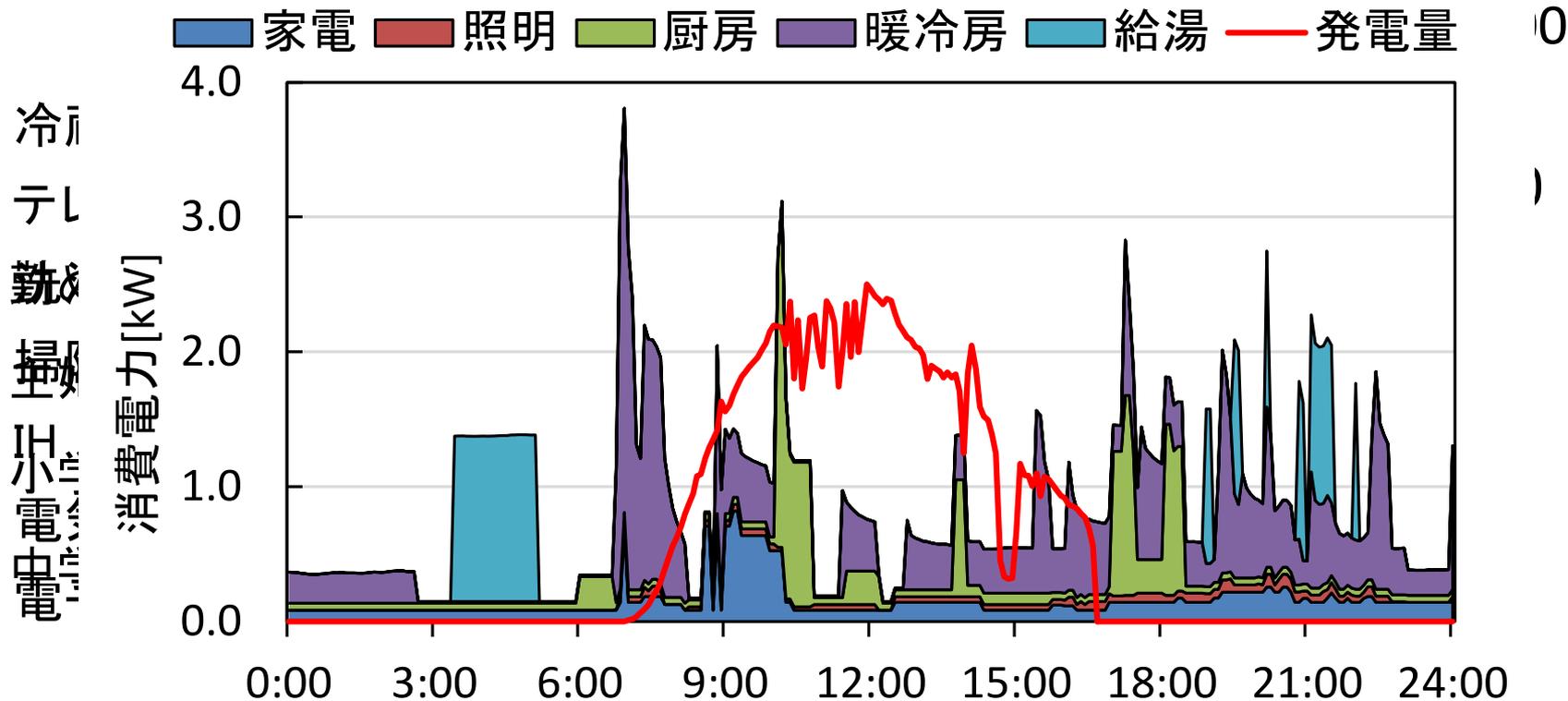
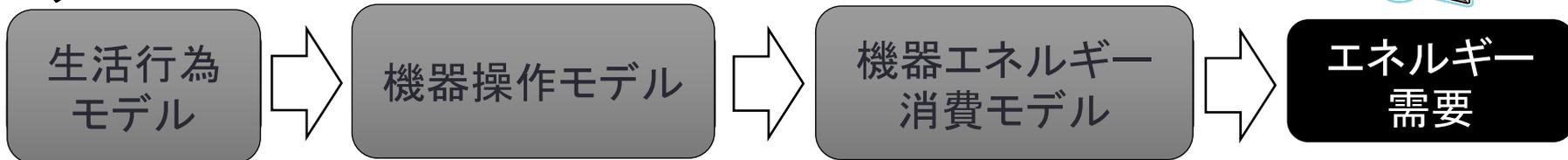
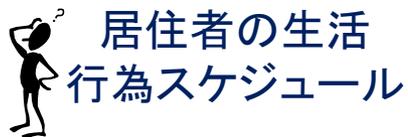


エネルギー需要モデルの開発

- 家庭単位から都市・電力系統・国土に至るまで、エネルギー需要の発生の成り立ちを各要素と要素間の関係に分解してモデル化
- 住宅では、人間の生活時間、各行動におけるサービス（熱環境や照度、情報など）への欲求、気象条件と室内環境を規定する熱や光の移動メカニズム、機器の保有状況、各機器のサービス変換性能などがエネルギー消費決定の要因となる。



家庭用エネルギーエンドユースモデル



モデルのフロー（全国推計の場合）

対象都道府県の
世帯の類型化

代表世帯の
サンプリング

世帯
912類型 { 19 家族類型
12 住宅類型
4 断熱性能区分

家庭部門エネルギー最終需要予測モデル

居住者行動モデル

家電機器エネルギー
消費モデル

給湯エネルギー
消費モデル

暖冷房エネルギー
消費モデル

代表世帯の
エネルギー消費

社会生活基本調査

家電機器操作確率

家電機器保有数量

家電機器の消費電力

行為別使用湯量

湯はり頻度

上水温度

気象データ

住宅間取り

壁・屋根・窓の仕様

暖冷房設定温度

エアコンCOP

積み上げ

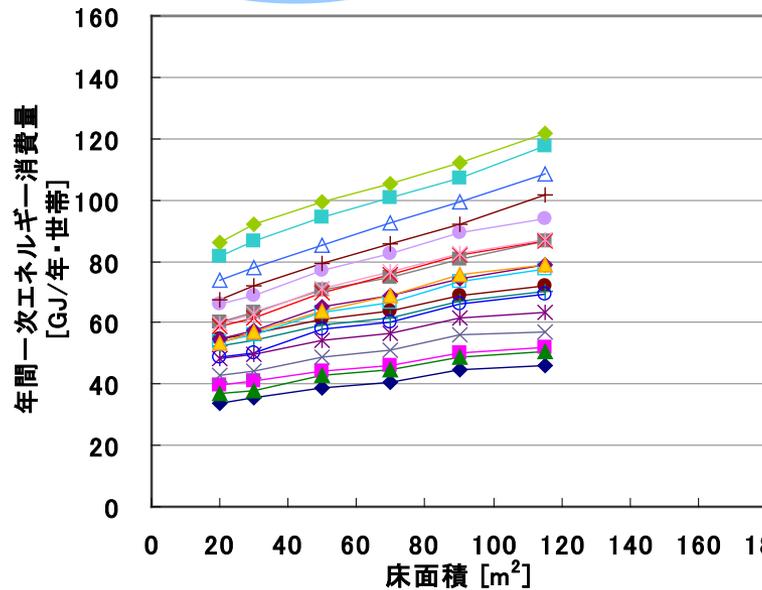
各都道府県の
エネルギー消費

日本全国の
エネルギー消費

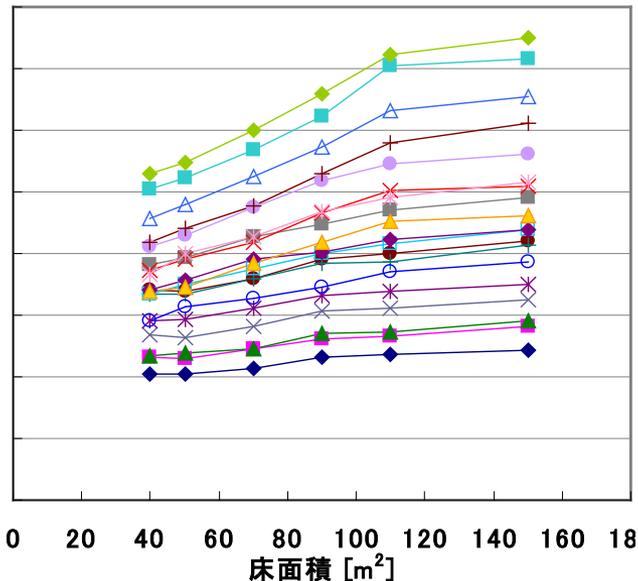
世帯・地域特性を
考慮した推計が可能

各世帯類型別の年間一次エネルギー消費量

集合住宅



戸建住宅

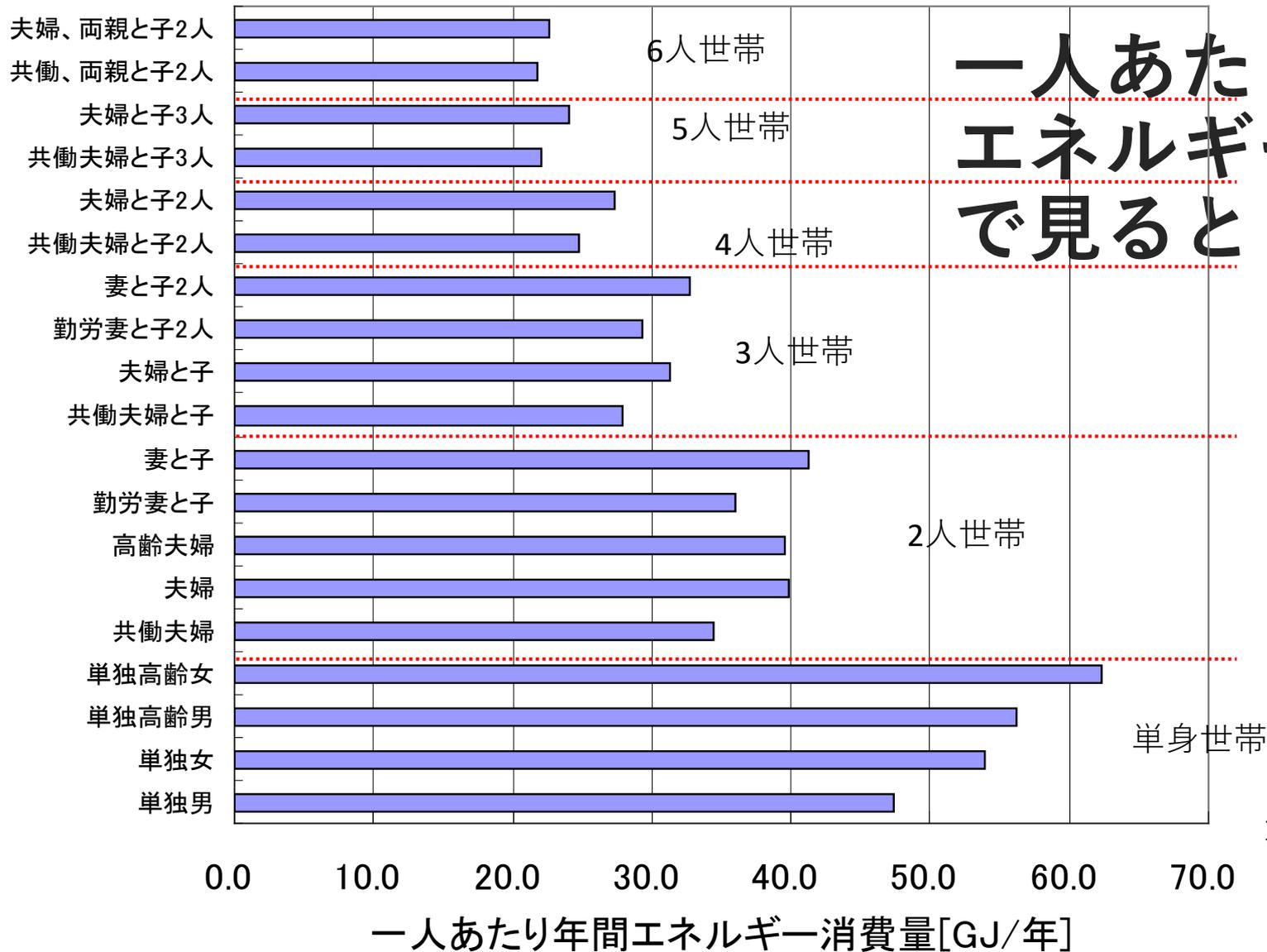


- ◆ 単独男
- 単独女
- ▲ 単独高齢男
- × 単独高齢女
- ✱ 共働夫婦
- 夫婦
- + 高齢夫婦
- 勤労妻と子
- 妻と子
- ◆ 共働夫婦と子
- 夫婦と子
- ▲ 勤労妻と子2人
- ✱ 妻と子2人
- ✱ 共働夫婦と子2人
- 夫婦と子2人
- + 共働夫婦と子3人
- △ 夫婦と子3人
- 共働、両親と子2人
- ◆ 夫婦、両親と子2人

世帯あたりの年間一次エネルギー消費量(大阪市)
一人あたりでは少人数世帯が大きい。



一人あたり年間エネルギー消費で見ると・・・

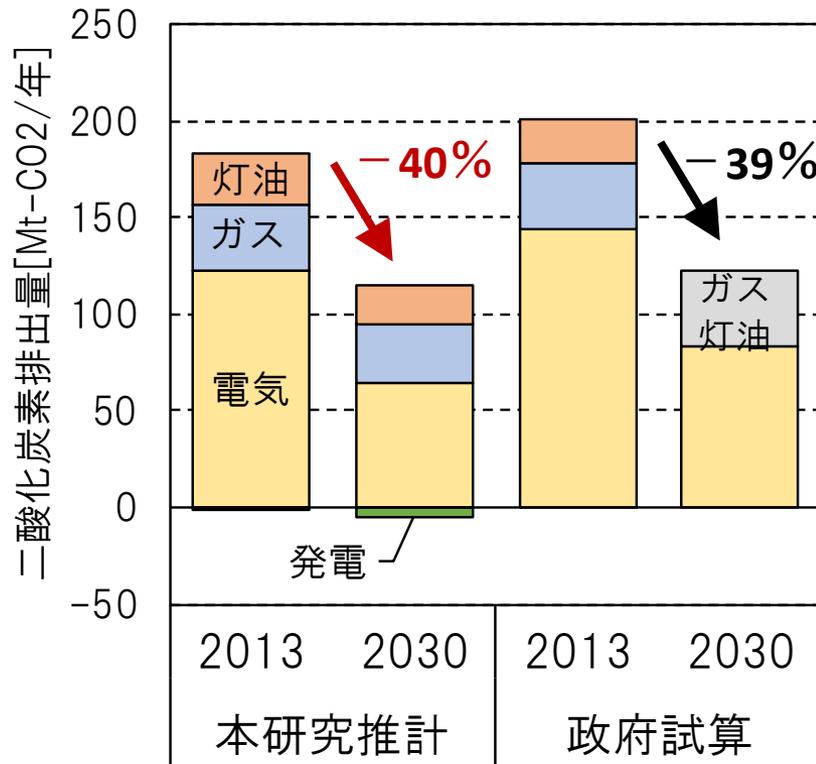


大阪市に対するシミュレーション結果から整理



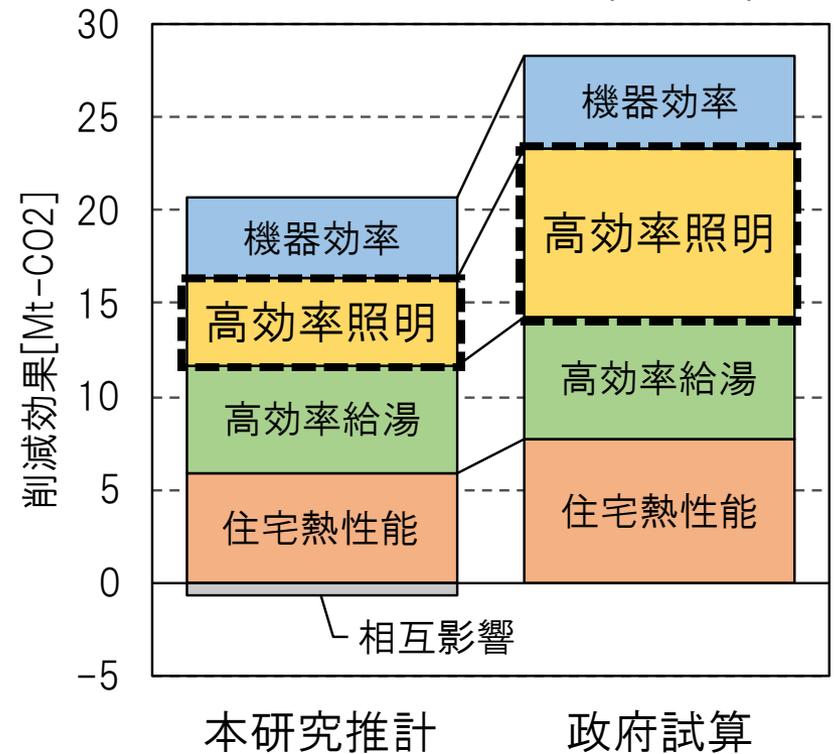
世帯・地域特性を考慮した対策削減効果の推計

● CO₂排出量の推計結果



● 各種対策の実行による削減効果

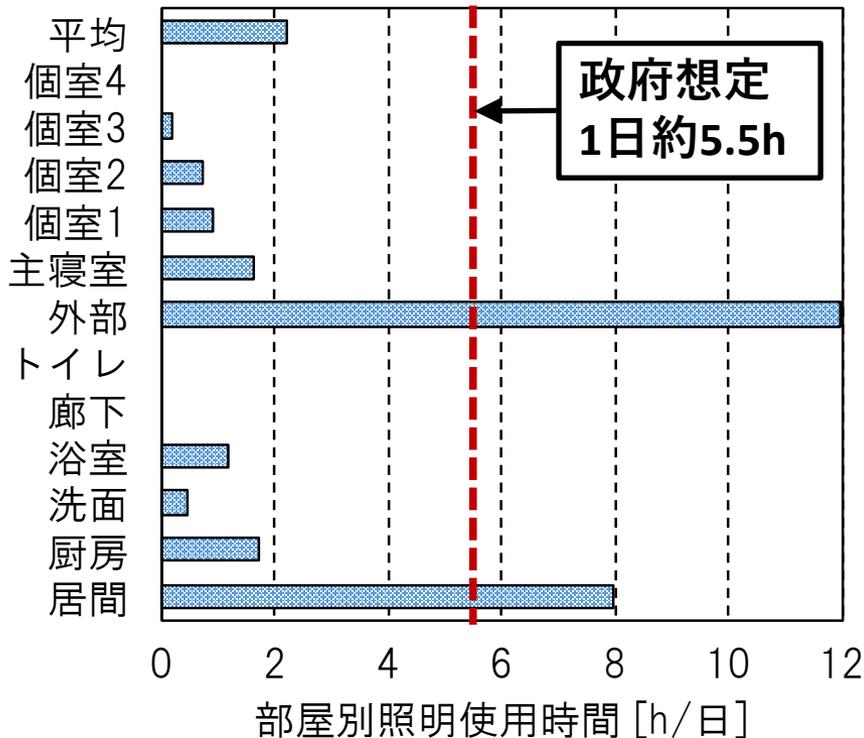
BAU(無対策) 基準



- ✓ 対策別削減効果の内訳は政府試算と異なる
- ✓ 特に「高効率照明の導入」による削減効果は大きく乖離

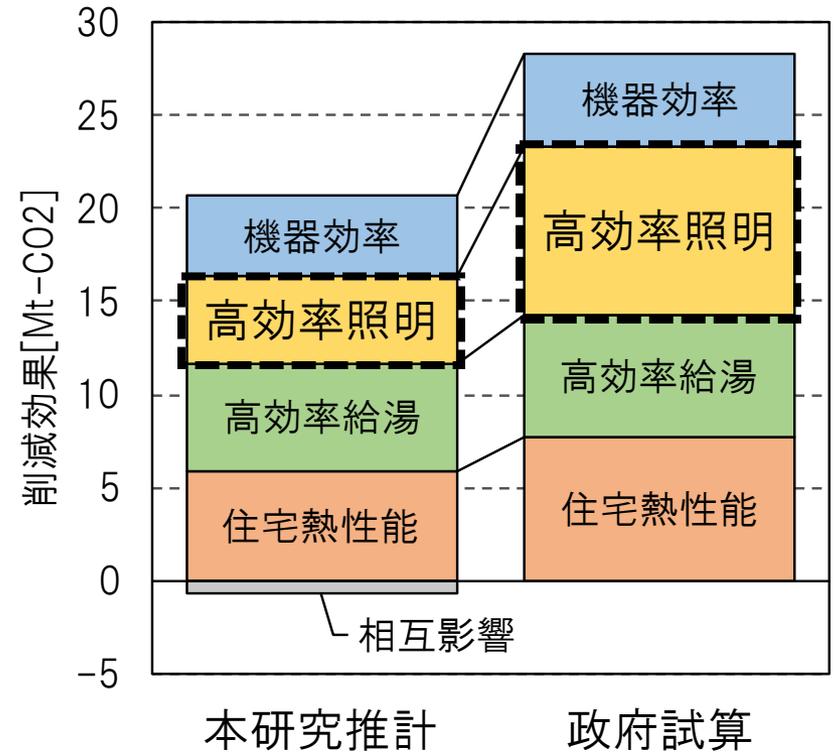
政府試算の検証例 (照明)

● 照明使用時間の比較



● 各種対策の実行による削減効果

BAU(無対策) 基準



- ✓ 居住者行動に起因して照明稼働
- ✓ 政府は全照明一律に設定

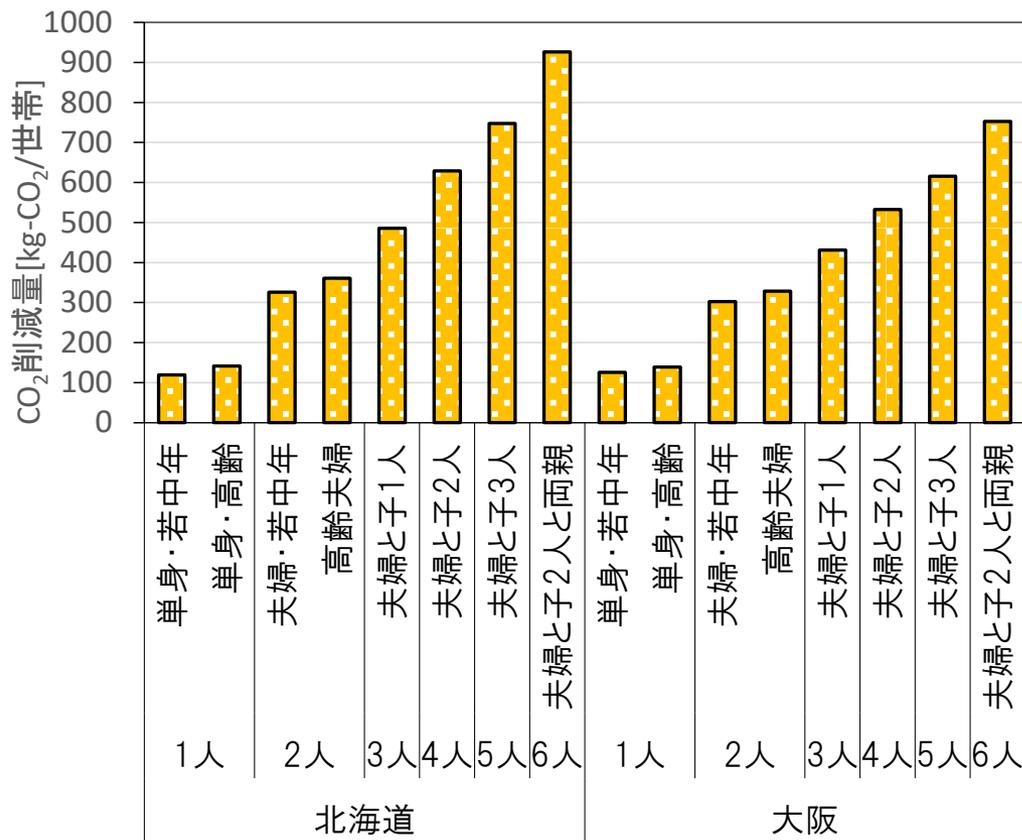
= 本研究の方が適切な想定

照明使用時間の想定が乖離の原因

→ 「高効率照明の導入」削減効果の政府試算は過大



政府試算の検証例（給湯）



給湯エネルギー消費・削減効果は

- 給湯需要量
 - 上水温度（加熱前水温）
- 等により変化する

→世帯や地域ごとでも
削減効果は大きく違う

「高効率給湯器」の導入削減効果推計結果
(従来型ガス給湯器→ヒートポンプ給湯機)

桃木他：エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス(2018)



2050年予測の課題

■ マクロフレームが不確実

- 2050年の超長期予測ではマクロフレーム（人口・世帯数等）の予測値が大きな誤差範囲を持つ。
- 逆に見れば、マクロフレーム自体を政策で操作できる変数として捉えることができる（あるいは、必須となる）。それぞれの専門分野の観点から妥当な解の範囲の中で値を設定していく必要がある。

■ 未来の生活を描けるか？

- 国立環境研究所の脱温暖化2050研究では、「活力，成長志向」「ゆとり，足るを知る」という2つの社会シナリオ
- 「イノベーション」への期待が強く語られているが、イノベーションによって起こる様々な社会・生活の変化を予測することが重要。

■ 土地利用の変化（郊外住宅地問題、ZEB、ZEHに適した土地利用）

■ 時間の長さに対するリアリティが必要

- 予測対象が2050年なのか，2100年なのかで盛り込める対策のメニューは異なるはず。変化の速度の限界を意識して入力条件を設定する必要。

Only Yesterday 1986

- 2018年の32年前は1986年
- 総理大臣は中曽根康弘（国鉄民営化など）
- バブル景気の始まり
- ワールドカップメキシコ大会
- チェルノブイリ事故
- 太陽電池の電卓応用が1980年、家庭用PVの系統連携第1号は1992年。応用に向けた技術開発。
- 新築建物：アークヒルズ（サントリーホール、テレビ朝日など）、大阪ヒルトン
- PC-98シリーズ初めてのラップトップ型発売
- EDMC推計によれば、民生CO₂排出は2.12億トンで2016年の3.77トンより44%小さい。



2050年予測における論点①世帯数の想定

- 家庭における**冷蔵庫と風呂湯はり**は大きな割合。その他**冷暖房照明**等はシェアリングできる。従って世帯人員は一人当，国全体の家庭部門エネルギー消費に大きな影響。
- 1965年から2005年の40年間で日本の家庭部門のエネルギー消費は5倍。世帯あたりエネルギー消費が約2.5倍，世帯数が2倍(人口は1.3倍)による。
- 世帯数を成り行きにしたまま，大幅なエネルギー消費の削減は極めて困難。しかしエネルギー消費削減対策として世帯人員のコントロールは，現状で受け入れられない。SDG's等の包括的な枠組みの中で提示？
- 技術的・政策的な解決策として，シェアハウスや高齢者施設などの拡大や，在宅勤務による同居の促進。

2050年予測における論点②

土地利用や建築対策に要する時間の長さ

- 建物は寿命が長い→Lock-inに陥りやすい。
- 土地利用は，更に長い転換期間が必要。
- 建築の寿命を50年，総床面積は一定とすれば，2000年から2017年まででおよそ1/3の建築が建替り，2050年まで残存→**2050年の都市の骨格の1/3は既に完成。**
- 非住宅建築の省エネルギー基準の遵守率は比較的高いが，基準内容はZEB仕様に比べれば低い。
- 住宅においては未だに義務化がおこなわれていない。
- →**省エネルギー性能向上の機会喪失は相当進んでいる。**

2050年予測における論点③

イノベーションの考慮

- 2050年まで32年となった現在，匿名の「イノベーション」でなく，考え得る技術・社会の革新をモデル上で表現し，そのポテンシャルを定量化する試みが必要。
- 例：インターネットの普及による社会変化
- 在宅勤務の増加
 - オフィスが以前の状態と同じである場合，住宅でのエネルギー消費の増加がオフィスでの減少を上回る
 - 出勤者の減少に併せて床面積を減少させるとエネルギー消費は減少。
- インターネットショッピングの増加
 - 実店舗の減少の影響が大きい

家庭部門の2050年試算例 ①シミュレーション条件

■ (1)省エネ徹底シナリオ

- 冷暖房，給湯を全てヒートポンプ化し，エアコンの定格点COPを冷暖房とも8.0，給湯も定格点COP6.0まで引き上げ，給湯機は昼間運転。
- 食器洗い乾燥機，電気ジャーポットなど他の手段で代替できる機器を削減。テレビや冷蔵庫等の機器は世帯1台に制限。
- 住宅ストック全体が1999年省エネルギー基準適合率100%を達成する。
- 戸建て住宅全てに太陽光発電5kWを設置。
- その他日中の照明消灯等
- 全電化（二次エネルギーについてはセッション10で議論）

■ (2)人口・世帯分布調整シナリオ

- 省エネ徹底シナリオの対策＋少人数世帯の同居の促進により世帯数が減少。国立社会保障・人口問題研究所の将来推計を2050年まで外挿し，若中年単身世帯の25%が親世代と同居，高齢夫婦世帯の25%が子世帯と同居。

■ (3)戸建住宅75%シナリオ

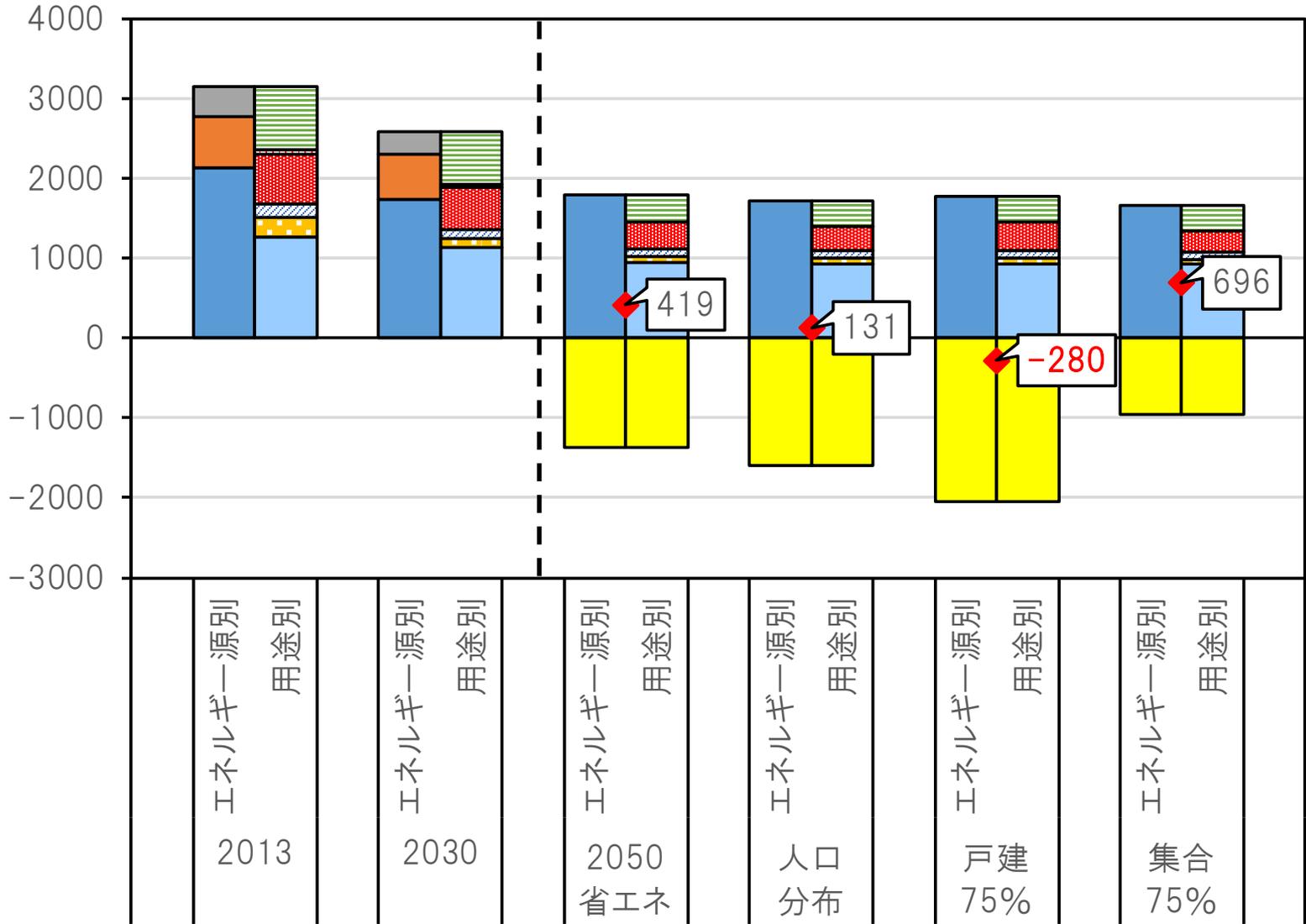
- 人口・世帯分布調整シナリオの対策＋全住宅ストックにおける戸建住宅の比率を75%まで増加（太陽電池の増加を誘導）
- ベースラインの戸建て住宅比率は2030年60%弱から2050年にほぼ50%

■ (4)集合住宅75%シナリオ

- 人口・世帯分布調整シナリオ＋全住宅ストックにおける集合住宅の比率を75%まで増加（暖冷房需要低減による省エネルギー）

一次エネルギー消費量・太陽電池発電量[PJ]

- 電気
- ガス
- 灯油
- 発電
- その他家電+厨房
- 照明
- 冷房
- 暖房



下田他：エネルギー・資源学会研究発表会（2018）

低炭素社会を可視化する

- 再生可能・省エネルギー技術を生かした建築や街区の景観デザイン
- 「再生可能エネルギーの時代が到来したことを景観を通じて市民に伝える」
- 設備機器も積極的に見せる。
- 地域の歴史資産をエネルギー施設として使う。



ご清聴ありがとうございました。

shimoda@see.eng.osaka-u.ac.jp